

Iiro Tuomioksa

Absorptiolämpöpumpun tutkiminen ja kytkennän kehittäminen hybridilämmitykseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

16.04.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Iiro Tuomioksa Absorptiolämpöpumpun tutkiminen ja kytkennän kehittäminen hybridilämmitykseen 30 sivua + 3 liitettä 16.04.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Lämpöliiketoiminnan päällikkö Åke Vikstedt Lehtori Jarmo Perttula
<p>Tämän insinööritoiminnan aiheena oli perehtyä lämmityskäyttöön suunnitellun kaasukäyttöisen absorptiolämpöpumpun toimintaan sekä suunnitella uudenlainen kytkentä lämmitysjärjestelmän kanssa referenssikytkennän pohjalta. Työn tilaajana oli Gasum Energiapalvelut Oy. Referenssikytkentänä käytettiin Gasum Tekniikka Oy:n Hyvinkään huoltokeskuksen lämmitysjärjestelmän kytkentää. Lisäksi työssä käytiin läpi absorptiolämpöpumpun mahdollisuuksia nykyisten rakentamismääräysten vaatimusten kannalta sekä käyttöturvallisuutta.</p> <p>Työssä perehdytään absorptiolämpöpumpun termodynamiikan perusteisiin sekä kylmäaineen ominaisuuksiin yleisesti. Teorian pohjalta tutustuttiin referenssikytkennässä käytettävän kaasukäyttöisen absorptiolämpöpumpun tärkeimpiin suureisiin ja ominaisuuksiin.</p> <p>Lämpöpumppukytkennän suunnittelu alkoi perehtymisellä referenssikytkennän ongelmiin, joita olivat mm. absorptiolämpöpumpun matala huipunkäyttöaika sekä energiatehokkuus kytkennässä. Pohdinnan tuloksena löydettiin uudenlaiset ratkaisut, joilla voidaan välttää referenssikytkennässä esiintyvät ongelmat. Uusien ratkaisujen pohjalta suunniteltiin teorian tasolla kytkentäkaavio, jossa nämä ongelmat on saatu korjattua.</p>	
Avainsanat	Absorptiolämpöpumppu, ammoniakki, GUE, E-luku

Author Title Number of Pages Date	Ilro Tuomioksa Absorption Heat Pump: Study and Connection Development for a Hybrid Heating System 30 pages + 3 appendices 16 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Åke Vikstedt, Project Manager Jarmo Perttula, Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to study the basic principles of absorption heat pumps and develop a new connection between the heat pump and the heating system. This thesis was commissioned by Gasum Energiapalvelut Oy. The planning of the new connection was based on a reference connection located at a maintenance center of Gasum Tekniikka Oy in Hyvinkää. The national building code of Finland and its regulations on the energy efficiency and safety issues of absorption heat pumps were also studied.</p> <p>The thermodynamics of absorption heat pumps and the properties of the refrigerant were studied in general. Furthermore the most common features of gas-fired absorption heat pumps used in the reference connection were introduced.</p> <p>The problems of the reference connection were examined first when planning the new heat pump connection. New solutions were discovered due to the result of analyzing the problems. With these new solutions it was possible to avoid problems like low production as full load hours and the energy efficiency of the absorption heat pump in the heat pump connection. Based on these new solutions, the new heat pump connection was designed on a theoretical basis.</p>	
Keywords	Absorption heat pump, ammonia, GUE, E-number

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Absorptiolämpöpumppu	1
2.1	Toimintaperiaate	2
2.2	Lämpökertoimen määrittäminen	3
2.3	Kylmäainepari H_2O-NH_3	5
2.3.1	Ominaisuuksia	5
2.3.2	Absorptio ja desorptio	6
3	Kaasukäyttöiset absorptiolämpöpumput	8
3.1	Polttoainehyötysuhde (GUE)	9
3.2	Primäärienergiakerroin (PER)	9
3.3	Soveltuvuus lämmityskäyttöön Suomessa	10
3.4	Suorituskyky	11
3.5	Innovatiivinen jatkokehittäminen	12
4	Lämpöpumppukytkenä	14
4.1	Referenssikytkenä	14
4.1.1	Puskurivaraaja	15
4.1.2	Käyttövesivaraaja	16
4.2	Referenssikytkenä ongelmat	16
4.3	Uusi kytkentä	16
4.3.1	Uuden kytkennän lämpötilaohjelma	18
4.3.2	Uuden kytkennän säätö ja ohjaus	20
5	Rakentamismääräyskokoelman vaatimukset energiatehokkuudelle	21
5.1	E-luku	22
5.2	Primäärienergian tarve	23
5.2.1	Energiamuotojen kertoimet	23
5.2.2	Kaasukäyttöisen absorptiolämpöpumpun primäärienergian tarve	23
5.3	Lämpöpumput kiinteistöjen saneerauksissa	24
5.4	Rakentamismääräysten ohjeet veden lämpötiloille ja virtauksille	25

6	Turvallisuus	26
6.1	Ammoniakki	26
6.2	Kaasukäyttöinen absorptiolämpöpumppu sisätiloissa	27
7	Yhteenveto	28
	Lähteet	29
	Liitteet	
	Liite 1. Oertlin kytkentä	
	Liite 2. Uusi kytkentä	
	Liite 3. Suorituskykytaulukot (GAHP-A HT, Robur S.p.A)	

Lyhenteet

COP	<i>Coefficient of Performance.</i> Lämpökerroin.
GUE	<i>Gas Utilization Efficiency.</i> Polttoainehyötysuhde.
PER	<i>Primary Energy Ratio.</i> Primäärienergiakerroin.
GAHP-A HT	<i>Gas Absorption Heat Pump Air High Temperature.</i> Robur S.p.A:n tuote. Korkealle veden lämpötilalle suunniteltu kaasutoiminen absorptiolämpöpumppu, joka hyödyntää ilman lämpöenergiaa.
GAWP	<i>Gas Absorption Wärme Pumpe.</i> Oertlin vastaava kaasutoiminen absorptiolämpöpumppu
KV	Käyttövesi

1 Johdanto

Uusien rakentamismääräysten myötä useita eri lämmönlähteitä hyödyntävät hybridi-lämmitysjärjestelmät ovat kasvattamassa suosiotaan. Hybridilämmitys on erinomainen tapa pienentää kiinteistön primäärienergian kulutusta ja samalla energiatehokkuusluokitusta. Energiatehokkuuden vaatimukset rakennuksille on lueteltu 1.7.2012 voimaan tullessa rakentamismääräyskokoelman osassa D3. Uusien rakentamismääräysten myötä energiantuotannon päästöjä pyritään vähentämään ja rakennuksista pyritään tekemään entistä energiatehokkaampia. Lämmitystavalla ja käytetyllä energiamuodolla on suuri vaikutus siihen, miten rakennuksen energiatehokkuusluokitus määräytyy. (6.)

Hybridilämmityksessä tavallisesti yhdistetään lämpöpumppu tai aurinkolämmitys tai molemmat yhdessä päälämmönlähteen kuten kattilan rinnalle. Ilmaisenergianlähteitä hyödyntämällä energiankulutuksen kustannukset ja päästöt pienenevät. Kaasulla toimivat absorptiolämpöpumput ovat tällä hetkellä uusimpia ratkaisuja osaksi hybridilämmitystä. Perinteisiin kompressorilämpöpumppeihin verrattuna kaasukäyttöinen absorptiolämpöpumppu kuluttaa suoraan primäärienergiaa energianlähteenä. Absorptiolämpöpumpulla voidaan hyödyntää ilmaisenergiaa, joka voidaan pumpata joko ilmasta tai maasta sekä käyttää energianlähteenä suoraan primäärienergiaa, jolloin vältetään sähköntuotantoon liittyviltä häviöiltä.

Oleellista hybridilämmityksen toimivuudessa on oikeanlainen kytkentä lämmitysjärjestelmään. Tässä työssä pyritään perehtymään absorptiolämpöpumpun toimintaan ja mahdollisuuksiin sekä kehittämään uusi ja energiatehokkaampi kytkentä lämmitysjärjestelmän kanssa teorian tasolla. Työn tilaajana toimi Gasum Energiapalvelut Oy ja referenssikohteena Gasum Tekniikka Oy:n Hyvinkään huoltokeskuksen lämmitysjärjestelmä.

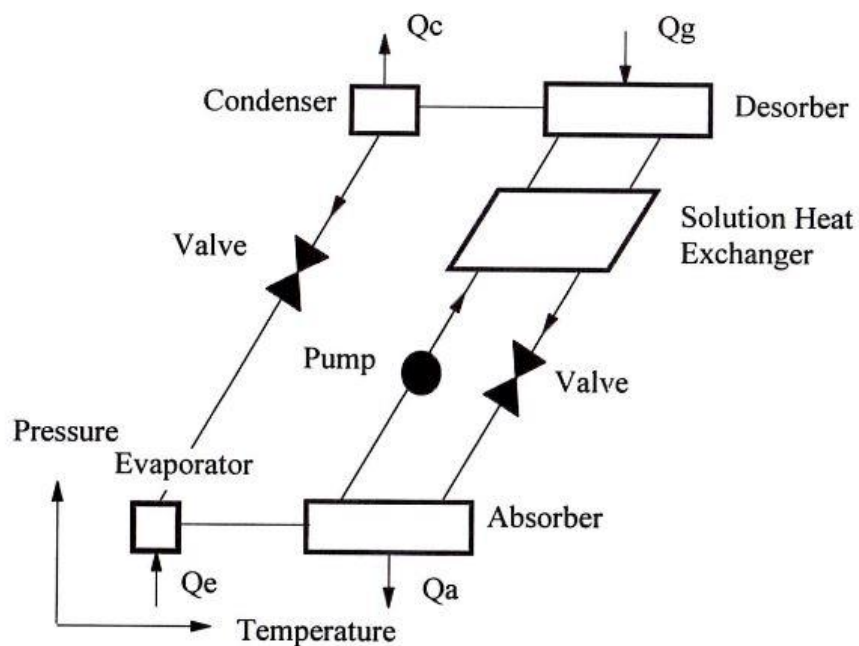
2 Absorptiolämpöpumppu

Absorptiolämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen ja absorbentin ominaisuuksiin vastaanottaa ja luovuttaa lämpöenergiaa. Toimiakseen absorptiolämpöpumppu tarvitsee ulkoisen lämmönlähteen, joka voi olla esimerkiksi aurinko, prosessien hukkalämpö tai maakaasun poltosta saatava lämpöenergia. Perinteiseen kompressorilämpöpump-

puun verrattuna absorptiolämpöpumppu kuluttaa vähemmän sähköä, on hiljaisempi käyttää ja vaatii vähemmän huoltoa, koska siinä ei ole liikkuvia osia.

2.1 Toimintaperiaate

Absorptiolämpöpumpussa perinteisen lämpöpumpun kompressorin on korvattu kiehutinimeytinlaitteistolla, jolla kylmäaine saadaan erotettua ja liotettua takaisin absorbenttiin. Kiehuttimessa (desorber) kylmäaineen ja absorbentin seokseen tuodaan lämpöä laitteen ulkopuolelta, jolloin kylmäaine höyrystyy ja erkanee liuoksesta (desorptio). Höyrystyessä kylmäaineen lämpötila ja paine kasvaa. Höyrystynyt kylmäaine vapauttaa lämpöä lauhduttimessa (condenser), jolloin sen paine ja lämpötila laskevat. Lauhduttimesta lähtevän kylmäaineen paine laskee edelleen paisuntaventtiilissä jolloin osa kylmäaineesta höyrystyy. Höyrystimessä (evaporator) kylmäaine vastaanottaa lämpöä, jolloin kylmäaine on kokonaan muuttunut höyryksi. Höyrystimestä lähtenyt höyry imeytetään (absorptio) takaisin absorbenttiin imeytimessä (absorber), josta kylmäaineen ja absorbentin seos palaa takaisin kiehuttimelle. Imeyttimen lämpötila on hyvä pitää mahdollisimman matalana jäähdyttämällä, sillä mitä matalampi imeytimen lämpötila on, sitä paremmin absorbointi tapahtuu. (Kuvio 1) (1, s. 632–633.)

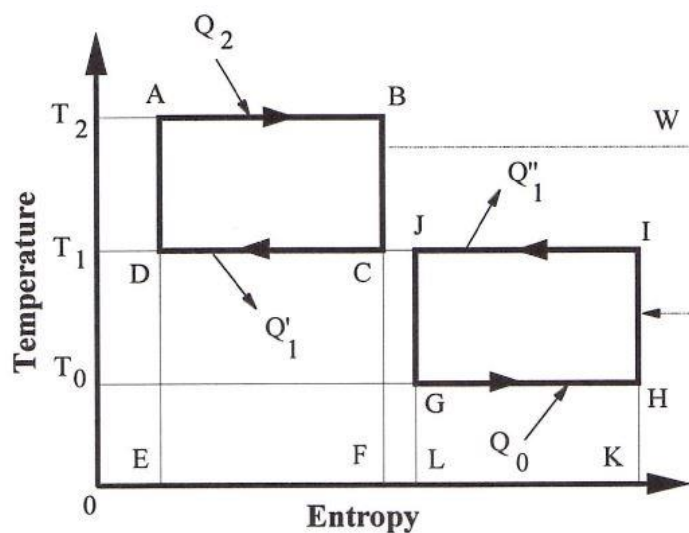


Kuvio 1 absorptiolämpöpumpun toimilaitekaavio (2, s.1.)

Kylmäaineen ja absorbentin seos kiertää kiehuttimen ja imeytimen välillä laitteistossa, johon kuuluu liuoslämmönsiirrin (solution heat exchanger), pumppu ja paisuntaventtiili. Kiehuttiin jäävä laimea liuos johdetaan liuoslämmönsiirtimeen, jossa se luovuttaa lämpöä imeytimestä tulevalle väkevälle liuokselle. Laimea liuos johdetaan lämmönsiirtimestä imeyttimele paisuntaventtiilin kautta, jolloin paine saadaan imeyttimele sopivaksi. Liuoksen kiertoa imeytimen ja kiehuttimen välillä ylläpidetään pumpulla. Liuoslämmönsiirtimellä kiehuttamiseen tarvittua lämpöä saadaan käytettyä hyväksi imeyttimeä tulevan liuoksen lämmittämiseen, jolloin lämpöpumpun hyötysuhde paranee. (1, s. 632–633.)

2.2 Lämpökertoimen määrittäminen

Absorptiolämpöpumpun teoreettinen lämpökerroin voidaan määrittää Carnot'n kehittämän häviöttömän kiertosyklin avulla. Ideaalinen reversiibeli absorptiosykli voidaan kuvata lämpötila entropia piirroksessa ideaalisen lämpöpumpun ja lämpövoimakoneen syklin yhdistelmänä. (Kuvio 2)



Kuvio 2 Absorptiolämpöpumpun ideaalinen kiertoprosessi (2, s.10)

ABCD kuvaa lämpövoimakoneen ja GHIJ lämpöpumpun sykliä. Lämpötila T_0 on tilan lämpötila, josta lämpöä siirtyy systeemiin. T_1 on lämpötila johon lämpöä vapautuu systeemistä ja T_2 erillisen lämmönlähteen lämpötila. Sykliin vaiheet ovat

- AB isoterminen paisunta (lämmön lisäys Q_2)
- BC isentrooppinen paisunta (Työ W)
- CD isoterminen puristus (lämmön vapautuminen Q'_1)
- DA isentrooppinen puristus (työn tuonti systeemiin)
- GH isoterminen puristus (lämmön lisäys Q_0)
- HI isentrooppinen puristus (Työ W)
- IJ isoterminen paisunta (lämmön vapautuminen Q''_1)
- JG isentrooppinen paisunta

(2, s. 7–8.)

Lämpökerroin COP absorptiolämpöpumpulle saadaan vapautuvien lämpömäärien Q'_1 ja Q''_1 ja työtä tekevän lämpömäärän Q_2 suhteesta:

$$COP_{AHP} = \frac{Q'_1 + Q''_1}{Q_2} \quad (1)$$

Vastaavasti lämpökerroin voidaan laskea lämpötiloilla

$$COP_{AHP} = \frac{T_2 - T_0}{T_2} \frac{T_1}{T_1 - T_0} \quad (2)$$

Lämpökerroin absorptiojäähdyttimelle saadaan vastaavasti sitoutuvan lämpömäärän ja työtä tekevän lämpömäärän suhteesta:

$$COP_{AR} = \frac{Q_0}{Q_2} \quad (3)$$

$$COP_{AR} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \frac{T_0}{T_1 - T_0} \quad (4)$$

Lämpöpumppu ja jäähdytin ovat käytännössä sama laite, vain käyttötarkoitus on eri. Analogia lämpöpumpun ja jäähdyttimen välillä on

$$COP_{AR} = 1 + COP_{AHP} \quad (5)$$

(2, s. 9–10.)

Teoreettista hyötysuhdetta pienentävät systeemissä esiintyvät häviöt, joita ovat esimerkiksi viskositeetista johtuva kitka ja lämpöhäviöt.

2.3 Kylmäainepari H_2O-NH_3

2.3.1 Ominaisuuksia

Absorptiolämpöpumppu tarvitsee kylmäaineen lisäksi niin sanotun absorbentin, johon kylmäaine voi imeytyä. Kylmäainepareina voi toimia lukuisia eri aineita, joiden valinta riippuu vallitsevista olosuhteista ja kylmäaineen ominaisuuksista. Kaasukäyttöisten absorptiolämpöpumppujen kylmäaineena käytetään ammoniakkia ja absorbenttina vettä, joten muiden kylmäaineparien tarkastelu jätetään tässä työssä tarkemmin käsittelemättä.

Ammoniakki sopii kylmäaineeksi erinomaisesti sen alhaisen kiehumispisteensä ($-33,35^\circ\text{C}$) takia ja korkean kriittisen pisteen vuoksi ($132,3^\circ\text{C}$, $11,3\text{ MPa}$). Kylmäaineparina toimivien ammoniakkin ja veden muita ominaisuuksia on lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1 Ammoniakin ja veden ominaisuuksia (3, s. 19.)

NH_3	H_2O	$NH_3 - H_2O$
<ul style="list-style-type: none"> + Suuri höyrystysentalpia + Alhainen jähmettymispiste + Pieni viskositeetti - Myrkyllinen - Korkea höyrynpaine 	<ul style="list-style-type: none"> + Pieni viskositeetti - Epäedullinen Höyrynpaine 	<ul style="list-style-type: none"> + Ei kiinteää faasia + Hyvä liukoisuus + Ei aiheuta korroosiota hiiliteräkselle - Myrkyllinen - Rektifikaatio tarpeellinen - Tulenarka

Ammoniakki-vesiaineparilla toimivissa absorptiolämpöpumpuissa käytetään kiehuttimen jälkeen vedenerotinta, johtuen ammoniakkin ja veden suhteellisen läheisistä kiehumispisteistä. Kiehuttimesta lähtevän ammoniakkihöyryn vesipitoisuus riippuu kiehut-

timen muotoilusta, nestemäisen liuoksen ammoniakkin massaosuudesta ja lämpötilasta. Veden kulkeutuminen kiertoon pienentää laitteiston suorituskkyä. (3, s.19.)

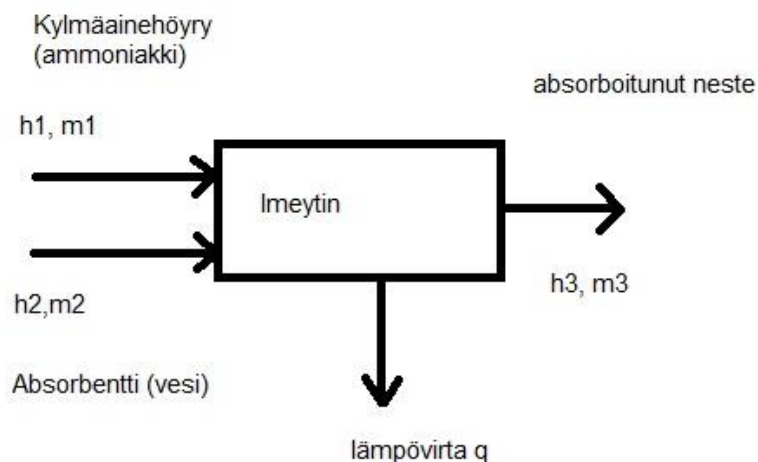
2.3.2 Absorptio ja desorptio

Absorptiolämpöpumpussa absorptiolla tarkoitetaan höyrystyneen kylmäaineen imeytymistä nestemäiseen absorbenttiin imeyttimeässä (kuvio 3). Absorptio on lämpöä vapauttava reaktio. Imeyttimessä syntyvä lämpömäärä voidaan selvittää höyryn ja nesteen entalpioiden ja massavirtojen avulla (2, s. 73–74.):

$$q = h_2 - h_1 + f(h_1 - h_3) \quad (6)$$

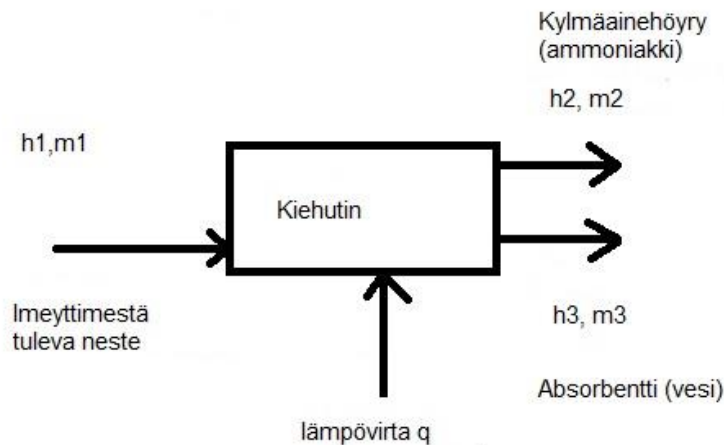
missä

- q = lämpöenergia
- h_1 = absorbentin entalpia imeyttimeässä
- h_2 = kylmäainehöyryn entalpia
- h_3 = absorboituneen höyryn ja nesteen entalpia
- m_2 = veden massavirta
- m_3 = imeyttimeestä lähtevä massavirta
- f = veden ja imeyttimeestä lähtevän massavirran suhde m_2/m_3 (2, s.73–74)



Kuvio 3 Yksinkertaistettu absorptioprosessi imeyttimeässä

Desorptio on käänteinen prosessi (kuvio 4) absorptiolle, joka tapahtuu absorptiolämpöpumpussa kiehuttimessa. Desorptio on lämpöä sitova reaktio.



Kuvio 4 Yksinkertaistettu desorptioprosessi kiehuttimessa

Desorptioprosessille tarvittava lämpövirta voidaan laskea samalla tavoin kuin absorptioprosessille hyödyntämällä massavirtoja ja entalpioita. Desorptioon tarvittava lämpömäärä on (2, s.67–68.):

$$q = h_2 - h_3 + f(h_3 - h_1) \quad (7)$$

missä

- q = lämpöenergia
- h_2 = kylmäainehöyryn entalpia
- h_3 = veden entalpia
- h_1 = imeyttimestä tulevan nesteen entalpia
- m_1 = imeyttimestä tulevan nesteen massavirta
- m_2 = kylmäainehöyryn massavirta
- f = imeyttimestä tulevan nesteen massavirran ja kylmäainehöyryn massavirran suhde m_1/m_2

(2, s. 67–68.)

Desorptioprosessille tarvittava lämpövirta saadaan absorptiolämpöpumpulle tulevasta lämmönlähteestä.

3 Kaasukäyttöiset absorptiolämpöpumput

Kaasukäyttöisellä absorptiolämpöpumpulla voidaan kattaa rakennuksen peruslämpökuorma. Hybridilämmitysratkaisussa absorptiolämpöpumpun rinnalle on luontevaa asentaa korkean hyötysuhteen omaava kaasukondenssikattila kattamaan tarvittavaa huipputehon tarvetta.

Kaasukäyttöisissä absorptiolämpöpumpuissa prosessia pyörittävä energia saadaan polttamalla kaasua lämpöpumpun polttimessa, jolla pidetään yllä kiehumista tapahtuvaa desorptioprosessia. Sähkötehoa laite tarvitsee vain pumpulle, puhaltimelle ja muille toimilaitteille, mikä on pieni osa verrattuna laitteen lämpötehoon. Yleisesti polttoaineena käytetään maakaasua/biokaasua, mutta polttoaineeksi soveltuvat myös esimerkiksi nestekaasut. Järkevin ja edullisin tapa on kuitenkin käyttää polttoaineena helposti putkistosta saatavaa maakaasua. Tällöin polttoaineen saatavuus on katkeamaton ja lämmitysjärjestelmä toimii yhtäjaksoisena.

Kuviossa (5) on Italialaisen lämpöpumppuja valmistavan yrityksen Roburin kaasukäyttöinen ilmalämpöpumppu, jolla lämmitetään vettä kiinteistön patteriverkostoon sekä käyttövedeksi. Laite hyödyntää veden lämmityksessä ilman lämpöenergiaa sekä absorptioprosessissa vapautuvaa lämpöenergiaa. Absorptioprosessin lämpöenergiaa käytetään myös generaattorille palaavan liuoksen esilämmityksessä, joka parantaa prosessin hyötysuhdetta. Kylmäaineena on ammoniakkia (R717). (9.)



Kuvio 5 Robur GAHP-A (5)

Laite sijoitetaan kokonaan ulkotiloihin, josta tarvittavat putket vedetään sisälle kiinteistöön. Robur valmistaa myös kaasukäyttöisiä maalämpöpumppuja, joiden etuna on tasainen lämmönlähteen lämpötila ympäri vuoden, mutta huonoina puolina kalliit perustamiskustannukset.

3.1 Polttoainehyötysuhde (GUE)

Kaasukäyttöisten absorptiolämpöpumppujen yhteydessä COP-arvon sijaan käytetään polttoainehyötysuhdetta eli GUE-arvoa, joka kuvaa käytännössä samaa asiaa kuin COP. GUE-arvo saadaan laskettua saadun lämmitysenergian ja kaasupolttimen käyttämän energian suhteesta

$$GUE = \frac{Q_{\text{lämmitys}}}{Q_{\text{poltin}}} \quad (8)$$

GUE-arvoa laskettaessa polttimessa poltettava energiamäärä perustuu kaasun alempaan lämpöarvoon. Kaasukäyttöisen absorptiolämpöpumpun sähkönkulutusta ei huomioida GUE-arvon laskennassa. (12, s.152.)

Kaasukäyttöisillä absorptiolämpöpumpuilla GUE-arvo on parhaimmillaan noin 1,6, mikä on yleisesti ottaen pienempi kuin kompressorilämpöpumppujen COP-arvot, jotka voivat

parhaimmillaan olla yli 5. COP- ja GUE-arvot eivät kuitenkaan ole vertailukelpoisia keskenään, vaan energiatehokkuutta määrittäessä täytyy tarkastella primäärienergiantarvetta.

3.2 Primäärienergiakerroin (PER)

Primäärienergialla tarkoitetaan energianlähdettä siinä muodossa, missä sitä ei ole vielä muunneltu käyttökelpoiseksi energiaksi. Maakaasu on suoraan primäärienergiaa. Sähkö täytyy sen sijaan tuottaa voimalaitoksissa ja siirtää kuluttajille. Sähkön tuotannossa ja siirrossa syntyy aina häviöitä, minkä takia polttoainetta kuluu saman energiamäärän tuottamiseksi yksikköä kohden enemmän, kuin suoraan polttoainetta polttamal-

la kohteessa. Maakaasua polttamalla lämmityskohteessa energia saadaan suoraan hyödyksi ilman teollisen tuotannon häviöitä.

Kaasukäyttöisiä absorptiolämpöpumppuja voidaan verrata muihin lämpöpumppuihin laskemalla saadun lämpöenergian suhde käytettyyn primäärienergiaan eli PER-arvo. Käytetty sähköenergia muutetaan primäärienergiaksi jakamalla se sähkönjakelun hyötysuhteella. (12, s.153.)

$$PER = \frac{Q_{\text{lämpö}}}{Q_{\text{Poltti}} + \frac{P_{\text{sähkö}}}{\eta}} \quad (9)$$

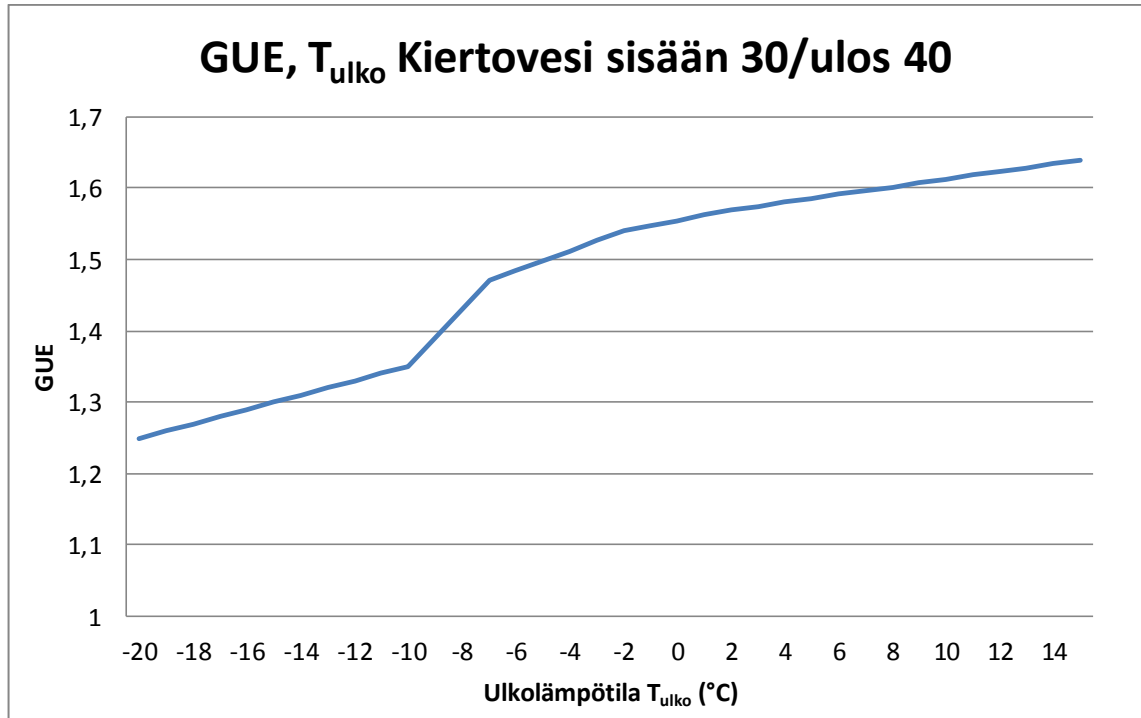
3.3 Soveltuvuus lämmityskäyttöön Suomessa

Maakaasuverkon laajuus rajoittaa kaasukäyttöisten absorptiolämpöpumppujen käytön eteläiseen Suomeen. Ilman lämpötilalla on suuri vaikutus kaikkien ilmalämpöpumppujen kannattavuuteen lämmityskäytössä. Ilman lämpötilan laskiessa myös ilman sisältämä lämpöenergia pienenee, jolloin lämpöpumpun lämpökerroin pienenee. Kaasukäyttöisillä ilmalämpöpumpuilla GUE-arvo pysyy kuitenkin reilusti yhden yläpuolella riittävän pienellä lämpötilaohjelmalla, joka mahdollistaa ilmalämpöpumpun ympärivuotisen käytön. Kesäaikaan, kun rakennuksia ei tarvitse lämmitellä, kaasukäyttöisellä ilmalämpöpumpulla voidaan kattaa valtaosa lämpimän käyttöveden tuottamisesta. Kylminä ajanjaksoina kaasukäyttöisten lämpöpumppujen matala lämpötilaohjelma ei riitä tilojen lämmitykseen, jolloin korkeampia lämpötiloja patteriverkoston kiertoon saadaan hybridi-lämmitysjärjestelmän päälämmönlähteeltä.

Kylminä aikoina kaasukäyttöisen ilmalämpöpumpun höyrystimen pinnoille voi muodostua jäätä, joka huonontaa lämmönsiirto-ominaisuuksia ilman ja höyrystimen välillä. Kaasukäyttöisissä ilmalämpöpumpuissa on sulatustoiminto, jolla kuuma ammoniakkihöyry pääsee virtaamaan suoraan höyrystimelle sulattaen jäätä. Sulatustoiminto ei katkaise laitteiston lämmitysprosessia vaan osa ammoniakkihöyrystä virtaa edelleen lauhduttimelle. Sulatustoiminto ei vaikuta merkittävästi laitteen hyötysuhteeseen. (10, s. 33.)

3.4 Suorituskyky

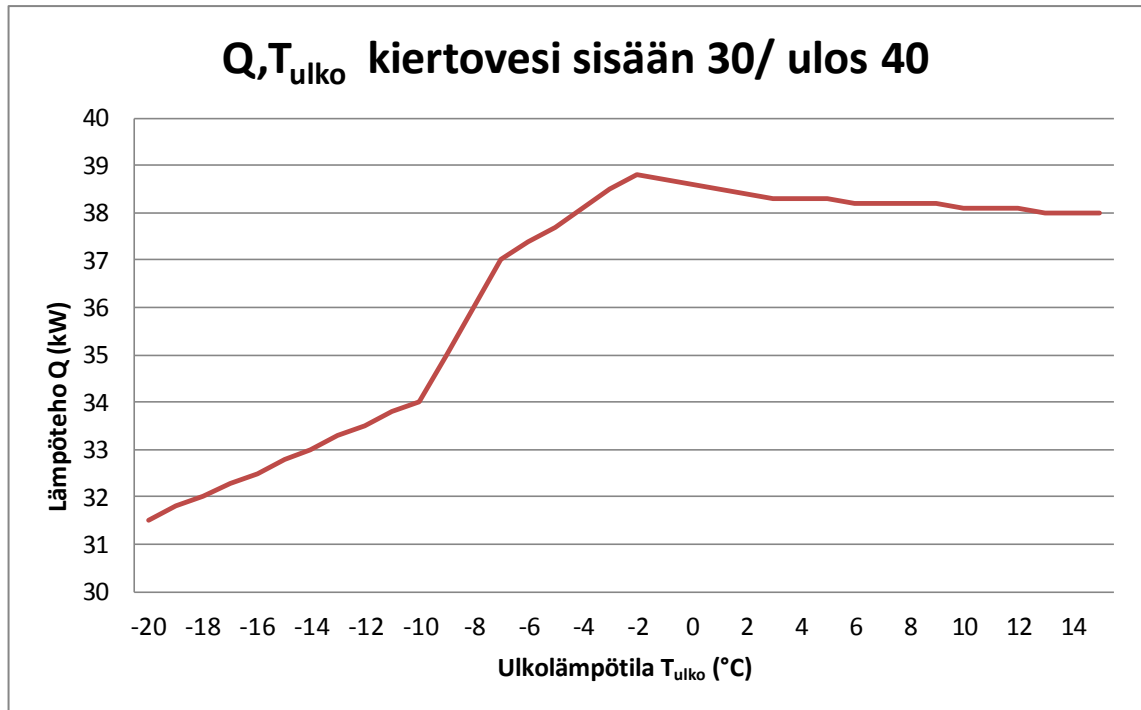
Carnot'n teoreettiseen maksimitehokertoimeen vaikuttaa lämpötilaero lämmönlähteen ja lämmitettävän kohteen välillä. Näin ollen GUE on korkeimmillaan lämpötilaeron ulko-lämpötilan ja lämmitettävän veden välillä ollessa mahdollisimman pieni. Kaaviossa 1 on esitetty GUE:n riippuvuus lämpötilasta, kun lämpöpumppuun otetaan kiertovettä sisään 30-asteisena. Arvot ovat Robur GAHP-A HT -laitteesta.



Kaavio 1 Robur GAHP-A HT, GUE:n riippuvuus ulkolämpötilasta (liite 3)

GUE pysyy reilusti yli yhden puolella vielä -20 °C:ssa, joten kaasuilmalämpöpumppu tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa kovillakin pakkasilla riittävän matalalla lämpötilaohjelmalla. Kesäaikaan ulkolämpötilan ollessa yli 15 astetta GUE:n arvo on yli 1,6. Kiertoveden lämpötilan nostaminen kasvattaa lämpötilaeroa, mikä taas pienentää GUE:n arvoa. Kesäaikaan kun huoneistojen lämmitystä ei tarvita, voidaan kaasulämpöpumpulla tuottaa tehokkaasti lämpimämpää kiertovettä GUE:n pysyessä silti korkeana.

Kaasukäyttöisen ilmalämpöpumpun lämpöteho nousee oleellisesti ilman lämpötilan myötä. Kaaviossa 2 on kuvattu ilmalämpöpumpun lämpöteho ulkolämpötilan funktiona. Kiertoveden sisääntulolämpötilana pumppuun on 30 °C.

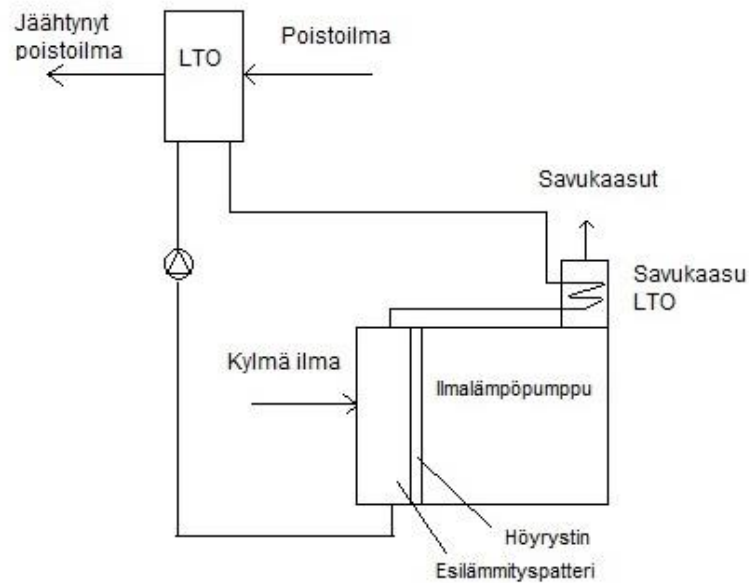


Kaavio 2 Robur GAHP-A HT Lämpöteho ulkolämpötilan funktiona (liite 3)

Kaasukäyttöisten ilmalämpöpumppujen haasteena ovat pitkät kylmät kaudet. Lämmitysteho voi parhaimmillaan vaihdella n.10 kW.

3.5 Innovatiivinen jatkokehittäminen

Yhtenä työn tavoitteena oli ideoida keinoja kaasukäyttöisten absorptiolämpöpumppujen energiatehokkuuden parantamiseksi. Näitä keinoja voivat olla mm. ilmalämpöpumpun ilman esilämmitys eri lähteiden hukkalämmöillä (kuvio 6) tai ilmalämpöpumpussa viilennetyn ilman hyödyntäminen viilennyskäyttöön.



Kuvio 6 Ilman esilämmitys

Kaasukäyttöisten absorptiolämpöpumppujen pakokaasut poistuvat sellaisenaan pako-putken kautta. Kuumien savukaasujen lämpöä voidaan hyödyntää asentamalla vesi-glykoli lämmönsiirrin pakoputkeen. Lämmönsiirrin kaasun ja nesteen välillä voi olla joko lamelli- tai harjalämmönsiirrin. Kiinteistön poistoilman lämpöä voidaan myös hyödyntää poistoilmalämpöpumpun tavoin. Poistoilmakanavaan asennettavalla lämmönsiirtimellä poistoilman lämpöä voidaan siirtää ilmalämpöpumpulle. Poistoilman lämmönsiirtimeltä lähtevä vesi-glykoliputki voidaan yhdistää lämpöpumpun pakoputken lämmönsiirtimen kanssa, jolloin molemmista saadaan otettua talteen lämpöä samaan vesi-glykoli kiertoon. Poistoilmasta ja savukaasuista lämmennyt neste johdetaan ilmalämpöpumpun ilmanottoaukon esilämmityspatterille, jossa neste vastaavasti lämmittää sisään otettavaa ilmaa. Tämä ratkaisu edellyttää ilmalämpöpumpun höyrytimen koteloimista, jotta ilma pääsisi ainoastaan esilämmityspatterin kautta höyrytimelle.

Ilman esilämmityksen avulla voitaisiin välttää kylmillä ilmoilla lämpöpumpun lämpötila-ohjelman nostosta johtuvat hyötysuhteen alenemiset. Esilämmityksen toimimista käytännössä pitäisi kuitenkin tutkia monelta eri kannalta. Lämpötilojen riittävyys, miten käytännön toteutus suoritetaan, hyötysuhde ja investoinnin laajuus suhteessa saavutettavaan hyötyyn ovat tutkimisen arvoisia asioita.

Ilmalämpöpumpussa jäähtyvä ilma on aina kylmempää kuin ulkoilma pumpun hyödyntämän ilman lämpöenergian takia. Kaasukäyttöisissä ilmalämpöpumpuissa jäähtynyt

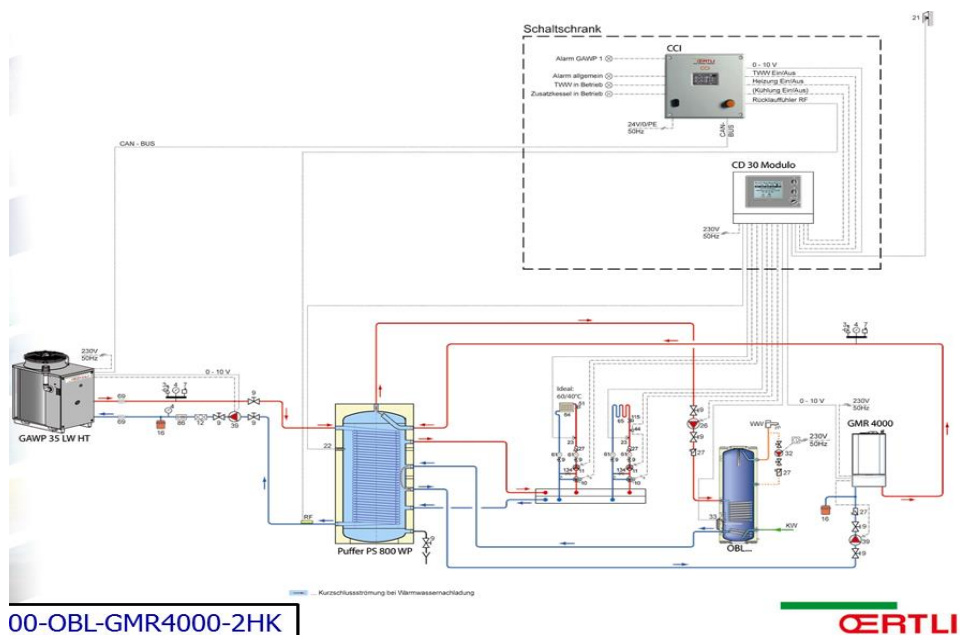
ilma poistuu lämpöpumpun yläosassa olevan tuulettimen välityksellä. Kesällä, kun kiinteistössä tarvitaan tilojen viilennystä, voidaan ilmalämpöpumpun viilentämä ilma käyttää hyödyksi johtamalla ilmastointikanava joko suoraan läheisiin tiloihin tai kiinteistön tuloilmakanavaan. Viilennysmahdollisuutta selvitetessä tulisi ottaa selvää kuinka paljon ilma viilenee pumpussa ja miten viilennyt ilma saadaan siirrettyä pumpulta.

4 Lämpöpumppukytkenä

Referenssikohteena lämpöpumppukytken kehittämiselle oli Gasum Oy:n Hyvinkään huoltokeskuksen lämmitysjärjestelmä.

4.1 Referenssikytkentä

Nykyinen lämmitysjärjestelmä koostuu Oertlin GSR-330 kondenssikattilasta, kaasukäyttöisestä absorptioilmalämpöpumpusta Oertli Gawp, 1000 l puskurivaraajasta sekä 500 l käyttövesivaraajasta. Oertlin lämpöpumppu on vastaava kuin Roburin valmistama GAHP-A HT -malli. Nykyinen kytkentä on Oertlin suunnittelema (Kuvio 7). Lämmitysjärjestelmällä tuotetaan kiinteistön lämmin käyttövesi sekä kiertovesi vesikiertoiselle patterilämmitykselle.



Kuvio 7 Referenssikytkentä (liite 3)

4.1.1 Puskurivaraaja

Oertlin Ilmalämpöpumppu on kytketty tuhannen litran puskurivaraajaan, jolla lämpöpumpun käyntiaikaa saadaan pidennettyä. Lämpöpumpulla on 7 min hystereesi, eli se käynnistyy ja pysähtyy melko hitaasti, joten puskurivaraaja tasaa lämpöpumpun ylös- ja alasajovaiheita. Varaajan sisällä on lämmityskierukka, jonka sisällä virtaa lämpöpumpulta tullut vesi-glykoliseos, joka lämmittää varaajan vettä. Puskurivaraajaan on lämpöpumpun lisäksi liitetty kattilasta tulevat tulo- ja menoputket sekä lämmitysjärjestelmän tulo- ja menojohtot (Kuviot 8 ja 9.).



Kuvio 8 Puskurivaraaja ja lämpöpumpun tulo- ja menoputket



Kuvio 9 Puskurivaraajan kytkennät takapuolelta

4.1.2 Käyttövesivaraaja

Käyttövesivaraajan yläosaan tulee putki puskurivaraajan yläosasta, missä vesi on kaikkein lämpimintä. Käyttövesivaraajan sisällä on samantyyppinen putkilämmönsiirrin kuin puskurivaraajassa. Putkilämmönsiirrin siirtää puskurivaraajasta tulleen lämmön käyttöveteen. Käyttövesivaraajan putkilämmönsiirtimestä vesi palaa takaisin puskurivaraajaan.

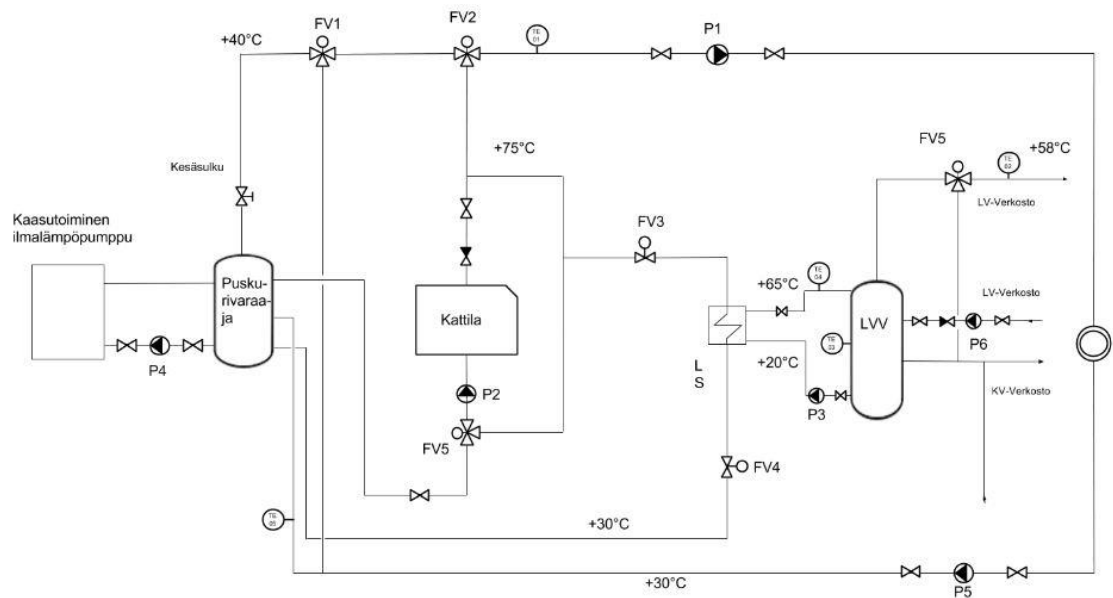
4.2 Referenssikytkennän ongelmat

Nykyinen kytkentä ei mahdollista ilmalämpöpumpun tehokasta käyttöä, jolloin ilmasta saadun ilmaisen energian määrä ja huipunkäyttöaika jäävät pieniksi. Kattilan tulopuoli (n. 80 °C) on suoraan yhdistetty puskurivaraajan yläosaan, joka kuumentaa puskurivaraajaa. Kuuma kattilavesi kerääntyy puskurivaraajan yläosaan, josta kuuma kattilavesi siirtyy käyttövesivaraajan putkilämmönsiirrimelle. Käyttövesivaraajan putkilämmönsiirrimen lämmönsiirtokyky on riittämätön kuumentamaan käyttövettä tarpeeksi lämpimäksi, jolloin käyttöveden lämpötila jää rakentamismääräyskokoelmassa annetun ohjearvon alapuolelle (alle 55 °C). Riittämättömästä lämmönsiirtymisestä johtuen käyttövesivaraajasta puskurivaraajaan palaava vesi kuumentaa edelleen puskurivaraajaa. Puskurivaraajan lämpenemisestä johtuen lämpötilaero varaajan ja lämmönsiirrinkierukan välillä kasvaa liian pieneksi, jolloin lämmönsiirto on olematonta ja ilmalämpöpumpun käyttö hyödytöntä. Varaajan lämpötila voi nousta niin korkeaksi, että lämmönsiirto puskurivaraajan lämmönsiirtokierukassa tapahtuu vastakkaiseen suuntaan.

4.3 Uusi kytkentä

Uuden kytkennän (Kuvio 9) suunnittelun keskeisimpinä tavoitteina oli saavuttaa mahdollisimman hyvä huipunkäyttöaika/hyötysuhde kaasukäyttöiselle ilmalämpöpumpulle sekä ratkaista käyttöveden lämmitykseen liittyvä ongelma. Kytkenä on suunniteltu täysin teorian tasolla. Kytkennän ohjaus ja säätö on selitetty pääpiirteittäin, jotta ajatus kytkennän toiminnasta tulisi paremmin esille. Kytkennässä ei ole huomioituna paisuntajärjestelmää.

Uudessa kytkennässä käyttövesivaraajan putkilämmönsiirrin korvataan tehokkaammalla ulkoisella levylämmönsiirtimellä, jolloin lämpö saadaan tehokkaammin siirtymään käyttöveteen. Tehokkaamman lämmönsiirtymisen ansiosta puskurivaraajalle palaava veden lämpötila jää huomattavasti matalammaksi. Kattilan menoveden tulopuoli irtikytetään puskurivaraajan yläosasta ja liitetään suoraan käyttöveden lämmönsiirtimeen. Lisäksi kattilan menupuolelta kytketään yhteys lämmitysverkkoon kolmitieventtiilillä, jolla saadaan lämmitysverkkoon tarvittaessa kuumempaa vettä. Lämmitysverkoston paluujohto liitetään puskurivaraajan keskiosaan ja käyttöveden lämmönsiirtimen paluuputki alaosaan. KV-lämmönsiirtimeltä palaava vesi asetetaan 30 °C asteiseksi. Tällöin kylmin vesi on aina varaajan alaosassa.



Kuvio 9 Uusi kytkentä (liite 2)

Ilmalämpöpumppua käytetään lämmitysverkoston tarpeisiin sekä kattilaan menevän veden esilämmitykseen. Kattilaan menevä vesi otetaan ainoastaan puskurivaraajasta niin pitkään, kun puskurivaraajasta tulevan veden ja kattilasta lähtevän veden lämpötilaero on vähemmän kuin 20 astetta. Kattilaan menevän ja ulostulevan veden lämpötilaero voi olla enintään 20 astetta. Kattilan tulo- ja menovesien lämpötilaeroa pienennetään kierrättämällä kattilasta tulevaa vettä takaisin kattilaan menevään veteen kolmitieventtiilin avulla.

Ilmalämpöpumpun lämpötilaohjelma pyritään pitämään mahdollisimman pitkään matalana (esim. 40/30 °C), jotta lämpöpumpun hyötysuhde pysyy hyvänä. Lämpötilaohjelmaa nostetaan patteriverkoston säätökäyrän vaatiman tarpeen mukaan tiettyyn rajaan asti (n. 55/45 °C), siten että hyötysuhde pysyy riittävästi yli yhden yläpuolella. Patteriverkoston vaatiessa kuumempia lämpötiloja, sekoitetaan kattilasta tulevaa kuumaa (n. 75 °C) vettä lämmitysjärjestelmään kolmitieventtiilin avulla.

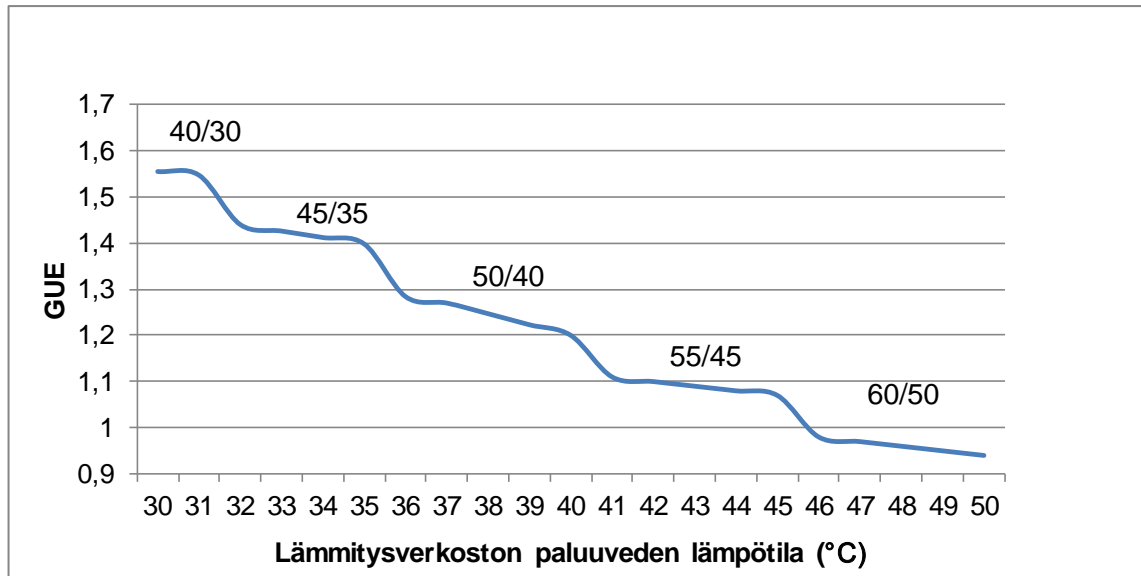
Levylämmönsiirrintä ennen on säätöventtiili, joka avautuu kun veden lämpötila käyttövesivaraajassa laskee asetusarvon alapuolelle. Säätöventtiilin avautumisen jälkeen kattilan poltin ja pumppu käynnistyvät, jolloin kuumaa kattilavettä alkaa virrata lämmönsiirtimelle. Samalla käynnistyy myös käyttövesivaraajan kiertovesipumppu, joka kierrättää vettä käyttövesivaraajan alaosaan lämmönsiirtimeen ja siitä edelleen käyttövesivaraajan yläosaan. Lämmönsiirtimeen jälkeinen säätöventtiili toimii siirtimeltä lähtevän veden lämpötilan mukaan pitäen sen asetusarvossaan. Käyttövesivaraajan veden lämpötilan noustessa asetusarvoon kattilan poltin sammuu ja kattilan pumppu ja käyttövesivaraajan pumppu pysähtyvät. Lopuksi levylämmönsiirtimeen säätöventtiili sulkeutuu. Kattilan poltin ja pumppu pysyvät toiminnassa, jos lämmitysverkolle on tarvetta. Säätöventtiilillä ennen lämmönsiirrintä estetään kuuman veden joutuminen puskurivaraajaan silloin, kun käyttövedelle ei ole lämmitystarvetta, mutta lämmitysverkolla on.

4.3.1 Uuden kytkennän lämpötilaohjelma

Ilmalämpöpumpun lämpötilaohjelma kannattaa pitää aina niin alhaalla kuin mahdollista. Matala lämpötilaohjelma takaa hyvän hyötysuhteen ja korkean ilmaisenergian määrän. Ulkolämpötilojen laskiessa ja samalla lämmitysverkoston lämpötilojen noustessa lämpöpumpun lämpötilaohjelmalle tulee kuitenkin rajoituksia. Kattilaa käytettäessä lämmitysverkoston paluuvien lämpötila voi nousta korkeammaksi kuin lämpöpumpun tuottama lämpötila, jolloin lämpö alkaa siirtyä väärään suuntaan. Tästä syystä lämpöpumpun lämpötilaohjelman täytyy olla aina korkeampi kuin lämmitysverkostosta palaavan veden lämpötila. Lämpöpumpun lämpötilaohjelman valintaa on havainnollistettu taulukossa 2 sekä kaaviossa 3. Taulukon laatimisessa on käytetty oletuksena seuraavia asioita: Meno- ja paluuvien lämpötilaero 10 °C sekä menoveden lämpötilan nousun ja ulkolämpötilan lineaarisuus.

Taulukko 2 Lämpötilaohjelman valinta (liite 3)

T(ulko) [°C]	T(meno) [°C]	T(paluu) [°C]	T(lämpöpumppu) [°C]	GUE (GAHP- A HT)
0	40	30	40/30	1,555
-1	41	31	45/35	1,457
-2	42	32	45/35	1,440
-3	43	33	45/35	1,426
-4	44	34	45/35	1,412
-5	45	35	45/35	1,398
-6	46	36	50/40	1,284
-7	47	37	50/40	1,270
-8	48	38	50/40	1,247
-9	49	39	50/40	1,223
-10	50	40	50/40	1,200
-11	51	41	55/45	1,110
-12	52	42	55/45	1,100
-13	53	43	55/45	1,090
-14	54	44	55/45	1,080
-15	55	45	55/45	1,07
-16	56	46	60/50	0,980
-17	57	47	60/50	0,970
-18	58	48	60/50	0,960
-19	59	49	60/50	0,950
-20	60	50	60/50	0,940



Kaavio 3 Lämpötilaohjelman valinta (liite 3)

Lämpötilaohjelman nostaminen 5 °C:lla pudottaa selvästi lämpöpumpun GUE-arvoa. Lämpöpumpun automatiikka huolehtii lämpötilaohjelman nostosta paluuverkoston anturin mittaustuloksen perusteella.

4.3.2 Uuden kytkennän säätö ja ohjaus

Kytken ohjauksessa ja säädössä on pyritty tuomaan esiin perusperiaatteet. Keskeisimpinä komponentteina ovat säätöventtiilit ja lämpötila-anturit (liite 2).

Ilmalämpöpumpun säätö

Ilmalämpöpumpun oma ohjauskeskus asettaa toimintalämpötilan paluuveden lämpötila-anturin TE 05 perusteella siten, että lämpöpumpusta tuleva veden ja lämmitysverkostosta palaavan veden lämpötilaero on 10 astetta.

Lämmitysverkoston menoveden lämpötilan säätö

Säädin säätää lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa ulkolämpötila-anturin sekä anturin TE 01 mittauksen mukaan ohjaamalla kolmitieventtiilejä FV1 sekä FV2 siten, että lämpötila pysyy asetetun säätökäyrän mukaisena.

Lämpimän käyttöveden säätö

Kolmitieventtiili FV5 säättää lämpimän käyttöveden lämpötilaa anturin TE02 mittauksen perusteella pitäen sen asetetussa arvossa.

Kondenssikattilan säätö

Kattilan poltin ja pumppu P2 käynnistyvät ulkolämpötila-anturin tai lämminvesivaraajan lämpötila-anturin TE03 mittauksen perusteella. Kattilan oma ohjauskeskus pitää menoveden lämpötilan vakiona 75 °C:ssa.

Lämminvesivaraajan (LVV) lämpötilan säätö

Pumppu P3 käy täydellä kierrosluvulla, kun lämpötila anturin TE03 kohdalla laskee alle asetetun arvon. Kattilan poltin ja pumppu P2 käynnistyvät sekä säätöventtiili FV3 avautuu. Lämpötilan noustessa asetettuun arvoon kattilan poltin sammuu, P2 ja P3 pysähtyvät sekä säätöventtiili FV3 sulkeutuu.

Lämmönsiirtimeen lataustehon säätö

Säätöventtiili FV4 säättää lämmönsiirtimeltä lähtevän veden lämpötilaa anturin TE04 mittauksen perusteella pitäen sen vakiona. Säätöventtiili FV3 avautuu täysin, kun lämpötila anturin TE03 kohdalla laskee alle asetetun alarajan, ja sulkeutuu, kun lämpötila saavuttaa asetetun ylärajan.

5 Rakentamismääräyskokoelman vaatimukset energiatehokkuudelle

Uusien rakennusten energiatehokkuusvaatimukset on lueteltu rakentamismääräyskokoelman osassa D3. Uudet rakentamismääräykset ovat osa EU:n tavoitetta vähentää primäärienergian kulutusta 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä. Energiatehokkuuden kannalta pyritään huomioimaan entistä paremmin rakennuksen kokonaisuutta, johon kuuluvat mm. ilmanvaihto, eristykset, lämmitysjärjestelmä, passiivinen lämmitys sekä ihmisistä ja kodinkoneista vapautuva lämpöenergia. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea rakennukselle ostoenergiankulutus, joka painotetaan energiamuodon kertoimilla ja josta saadaan laskettua rakennuksen E-luku.

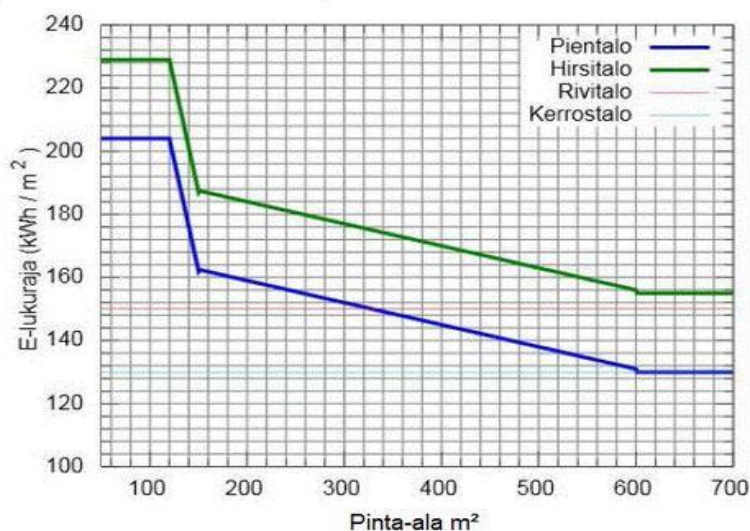
5.1 E-luku

Suomen rakentamismääräyskokoelman määräysten ja ohjeiden mukaan

E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiakulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodottain. (8, s. 8.)

E-luvun avulla rakennukset jaetaan energiatehokkuusluokkiin. Tietylle nettopinta-alalle ja rakennuksille on määrätty E-luvun raja-arvot, joita rakennus ei saa ylittää. Rakennuksen E-luvun on oltava raja-arvojen sisällä, jotta esimerkiksi rakennuslupa voidaan myöntää. Myös riittävän isoille saneerauskohteille täytyy nykyään määrittää E-luku. Mitä pienempi on rakennuksen E-luku, sitä pienemmät ovat energiakustannukset. Pieni E-luku kasvattaa myös rakennuksen energiatehokkuusluokitusta, joka taas kasvattaa rakennuksen jälleenmyyntiarvoa.

E-luvun raja-arvojen riippuvuus pinta-alasta eri rakennuksilla on kuvattu kaaviossa 4.



Kaavio 4 E-luvun raja-arvo rakennuksen lämmityspinta-alan funktiona erityyppisille rakennuksille (7.)

Muilla rakennuksilla E-lukujen raja-arvoja on lueteltu rakentamismääräyskokoelman osassa D3 kappaleessa 2.1.4.

5.2 Primäärienergiantarve

5.2.1 Energiamuotojen kertoimet

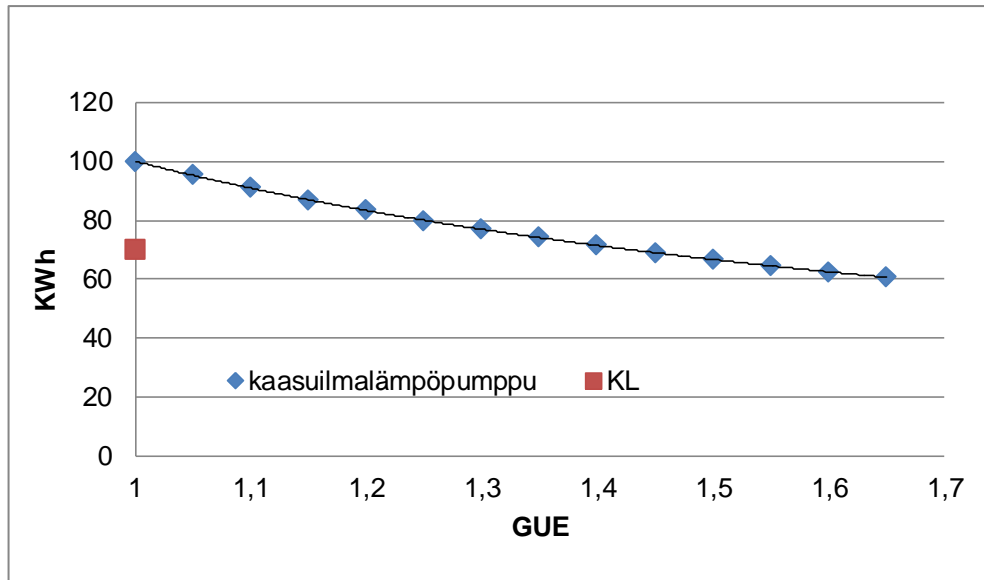
Uudessa rakentamismääräyskokoelmassa on kiinnitetty huomiota entistä enemmän primäärienergiantarpeeseen. Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 on lueteltu energiamuotojen kertoimet eri energianlähteille (8, s. 8.)

• sähkö	1,7
• kaukolämpö	0,7
• kaukojäähdytys	0,4
• fossiiliset polttoaineet	1,0
• rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Sähkön energiamuodon kerroin on suuri sen tuotantoon liittyvien häviöiden vuoksi. Fossiiliset polttoaineet taas ovat suoraan primäärienergiaa, joten niiden kerroin on 1.

5.2.2 Kaasukäyttöisen absorptiolämpöpumpun primäärienergiantarve

Oheisessa kaaviossa 5 on kuvattu kaasukäyttöisen absorptiolämpöpumpun (lämmönlähteenä ilma) primäärienergiantarvetta 100 kWh:a kohden GUE:n funktiona. Vertailukohteeksi on valittu kaukolämpö (KL), jonka primäärienergiantarve 100 kWh:a kohti on 70 kWh.



Kaavio 5 Primäärienergiankulutusvertailu

GUE:n ollessa noin 1,3 päästään samaan primäärienergiankulutukseen kuin kaukolämmöllä. Käyttämällä biokaasua (energiamuodonkerroin 0,5) maakaasun sijaan päästään vielä puolet pienempään primäärienergiankulutukseen, jolloin absorptiolämpöpumppu olisi kaikissa tapauksissa energiatehokkaampi vaihtoehto kuin kaukolämpö.

Absorptiolämpöpumppujen etuna verrattuna muihin lämpöpumppuihin on pieni sähkönkulutus, joka pienentää E-lukua huomattavasti sähkön (1,7) suuren energianmuodonkertoimen vuoksi. Lisäksi ilmasta tai maasta saatu energia pienentää ostoenergian määrää pienentäen jälleen E-luvun arvoa ja samalla rakennuksen energiatehokkuutta. Biokaasun käyttäminen maakaasun sijaan pienentäisi entisestään E-lukua ja primäärienergiantarvetta. Pienentämällä rakennuksen tarvitsemaa primäärienergian tarvetta voidaan välttyä muilta kustannuksilta, joita rakennuksen energiatehokkuuden saavuttaminen vaatii.

5.3 Lämpöpumput kiinteistöjen saneerauksissa

Kiinteistöjen saneeraukset, joissa uusitaan kokonaan vanha lämmitysjärjestelmä, luovat suuret markkinat energiatehokkaille ja moderneille lämmitysjärjestelmille. Yleisin ratkaisu esimerkiksi vanhan öljykattilan tilalle on kondensoiva kattila, jolla päästään toki korkeaan hyötysuhteeseen, mutta ei kuitenkaan läheskään yhtä lähelle kuin lämpöpumppujärjestelmillä. Lämpöpumppujärjestelmät kasvattavat suosiotaan pienemmän

energiankulutuksen ja hyötysuhteen ansiosta sekä tiukentuneiden rakentamismääräyksien takia.

Saneerauskohteissa halutaan usein säästää vanha radiaattoriverkosto kustannussyistä, mikä aiheuttaa korkean lämpötilaohjelman kannalta rajoituksia lämpöpumpuille. Lämpöpumpulle sopivampi ratkaisu olisi lattialämmitys, joka vaatii matalamman lämpötilaohjelman, jolloin lämpöpumppu voi toimia hyvällä lämpökertoimella. Radiaattoriverkoston purkaminen ja lämpöpumpun ja lattialämmityksen asentaminen ei kuitenkaan ole kilpailukykyinen vaihtoehto radiaattoriverkostolle sopivan kattilan tms. lämmönlähteen kanssa.

Kaasukäyttöisillä absorptiolämpöpumpuilla on mahdollista tuottaa lämpötiloja, jotka vastaavat radiaattoriverkoston tarpeita. Lämmityksen tuottaminen pelkästään absorptiolämpöpumpulla ei kuitenkaan ole järkevää, sillä korkeat lämpötilaohjelmat pienentävät lämpökerrointa niin alas lämpimilläkin ilmoilla, että siitä ei ole enää hyötyä ilmaisenergian kannalta. Absorptiolämpöpumppu voidaan kuitenkin ottaa osaksi järjestelmää. Näin ollen suurin osa lämmitystarpeesta pystytään tuottamaan edullisesti absorptiolämpöpumpulla.

5.4 Rakentamismääräysten ohjeet veden lämpötiloille ja virtauksille

Kiinteistön lämpimän käyttöveden laitteiston lämpötilan tulee olla aina yli 55 °C, jotta välttyttäisiin mm. legionella-bakteerin ja muiden pieneliöiden mahdolliselta kasvulta ja kulkeutumiselta käyttöveteen. Käyttövesivaraajan termostaatti tulisi säätää siten, että lämpötila laitteistossa pysyisi hieman ohjearvoa korkeampana, esimerkiksi 58 °C:ssa, jotta lämpötila käyttäjällä olisi vähintään 55 °C. Lämpimän käyttöveden kiertojohdossa lämpötila voi kuitenkin laskea alle 55 °C:n. Lämpimän käyttöveden lämpötila puhtaanapitolaitteissa, kuten suihkuissa ja hanoissa ei saa ylittää yli 65 °C:n lämpötilaa turvallisuussyistä. Kylmävesijohdon lämpötilan ei tulisi ylittää 20 °C:n lämpötilaa. (13, s. 8–9.).

Putkistojen materiaalivalinnoissa ja virtausnopeuksien suunnittelussa huomioidaan käytettävän veden laatu ja virtauksesta aiheutuva eroosiokorroosio putkistolle. Putkis-

tolaitteissa, kuten pumpuissa ja venttiileissä tulee käyttää korroosiokestäviä materiaaleja, jotka soveltuvat elintarvikekäyttöön. Taulukossa 4 on esitetty kuparille suurimmat hyväksytyt veden virtausnopeudet.

Taulukko 4 (13, s. 13.)

**Syöpymisen kannalta suurin hyväksytty
vedennopeus kuparijohdossa.**

Vesijohto	Suurin hyväksytty nopeus, m/s	
	Kylmä vesi	Lämmin vesi
Jakojohto	4,0	3,0
KytKentäjohto	4,0	3,0
Johdossa jatkuva virtaus ¹⁾	1,0	1,0

¹⁾ Lämpimän veden kiertojohdon virtausnopeuden mitoitussarvo on 0,5 m/s.

Lämminvesijohtoon menevä vesi säädetään siten, että virtausnopeus ei missään putkiston osassa ylitä arvoa 1,0 m/s. (13, s. 13.)

6 Turvallisuus

Oikein asennettuna ja huollettuna kaasulämpöpumppu on turvallinen lämmitysratkaisu. Kaasulämpöpumppujen vaarallisiksi aineiksi voidaan luokitella ammoniakki sekä polttoaineena käytettävä kaasu. Maakaasun osalta kaasulämpöpumppuja koskevat samat turvallisuusohjeet kuin muitakin kaasulaitteita.

6.1 Ammoniakki

Ammoniakki on huonelämpötilassa myrkyllinen, väritön ja ilmaa kevyempi kaasu. Sen tunnistaa pistävästä hajusta ja se on helppo havaita hyvin pieninäkin pitoisuuksina, joten riski ammoniakkikaasun huomaamattomalle kerääntymiselle on pieni. Ammoniak-

kikaasun kerääntyminen suljettuun tilaan voi aiheuttaa räjähdysvaaran, sillä ammoniakin ja ilman seos voi syttyä ja räjähtää, kun ammoniakkikaasun pitoisuus ilmassa on 16–25 %. (2, s. 177.)

Ammoniakkikaasun haittavaikutuksina ovat silmien ja hengitysteiden ärsytys, jotka alkavat, kun ammoniakin pitoisuus on noin 18–25 ppm. Suurina pitoisuuksina (5 000 ppm) ammoniakkikaasu on ihmiselle hengenvaarallinen ja voi aiheuttaa kuoleman hyvin nopeasti. Ammoniakin väkevä vesiliuos on voimakkaasti syövyttävää ja sitä käsiteltäessä on syytä suojautua roiskeilta asianmukaisilla suojavarusteilla. Roiskeiden joutuminen silmään voi aiheuttaa sokeutumisen, jos hoitoa ei anneta riittävän nopeasti. (11.)

Kaasukäyttöisessä absorptiolämpöpumpussa ammoniakki kiertää hermeettisesti suljetussa järjestelmässä, mikä tekee vuodoista hyvin epätodennäköisiä. Hermeettisesti suljetun järjestelmän ansiosta kylmäainetta ei myöskään tarvitse lisätä, mikä lisää osaltaan turvallisuutta ja säästää huoltokustannuksissa. Ulkotiloihin sijoitettava absorptiolämpöpumppu kannattaa sijoittaa paikkaan, missä ajoneuvojen mahdolliset törmäykset eivät pääse vahingoittamaan laitteistoa ja aiheuttamaan vuotoja. (10, s. 5.)

Ammoniakin vuodot havaitaan pääosin hajun perusteella. Perinteisillä vuototestereillä ei ammoniakkivuotoja pystytä toteamaan, sillä ammoniakki liukenee nesteeseen eikä muodosta kuplia. (2, s. 177.)

6.2 Kaasukäyttöinen absorptiolämpöpumppu sisätiloissa

Yhdestä litrasta nestemäistä ammoniakkia muodostuu 750 l ammoniakkikaasua. Tämän takia asennettaessa kaasulämpöpumppua sisätiloihin tulee järjestelmän tiiveys tarkastaa erittäin huolellisesti vuototestereillä ennen käyttöönottoa. Putkiliitosten täytyy olla juotettuja tai hitsattuja tiiveyden varmistamiseksi ja laitteistolle täytyy säännöllisesti tehdä vuototestauksia. (14.)

Sisätiloihin asennettava absorptiolämpöpumppu tulee eristää muista lämmönlähteistä, jotta vältetään ammoniakkikaasun paineen kohoaminen järjestelmässä. Absorptiolämpöpumppu tulee eristää sytytyslähteistä ammoniakkikaasun räjähdysherkkyyden vuok-

si. Lisäksi sisätiloihin tulee asentaa toimiva tuuletusjärjestelmä mahdollisen vuodon sattuessa ja mahdollisuus kytkeä laite pois toiminnasta toisesta tilasta. (14.)

Vaarallisia kemikaaleja koskevien säännösten mukaan asuinhuoneistossa saa säilyttää palavia nesteitä tai palavia kaasuja sisältäviä aerosoleja yhteensä enintään 25 litraa ja nestekaasua enintään 25 kg. Yhdessä kaasulämpöpumpussa on 7 kg ammoniakkia, joka ei ylitä sallittua rajaa. Pelastusviranomaiselle tulee tehdä ilmoitus, jos käytössä tai varastoituna on yli 500 kg ammoniakkia. (14)

7 Yhteenveto

Kaasukäyttöiset absorptiolämpöpumput ovat mielenkiintoinen vaihtoehto tavallisten lämpöpumppujen tilalle. Todellista kulutusta, hyötysuhdetta tai säästöpotentiaalia ei tämän työn puitteissa ollut tarkoitus laskea, vaan selvittää kaasukäyttöisten absorptiolämpöpumppujen potentiaalia hybridilämmitysjärjestelmän vaihtoehdoksi. Pieni sähkön kulutus ja suora primäärienergian käyttö pienentävät rakennuksen E-lukua ja tekevät absorptiolämpöpumpusta varteenotettavan vaihtoehdon rakentamismääräysten energiatehokkuusvaatimusten kannalta. Absorptiolämpöpumpussa ei ole liikkuvia osia eikä kylmäainetta tarvitse lisätä hermeettisen järjestelmän ansiosta. Huollon tarve pienenee ja samalla myös muuttuvat käytönaikaiset kustannukset vähenevät sekä käyttöturvallisuus paranee.

Absorptiolämpöpumppu ei yksinään riitä lämmitykseen, vaan oleellista on suunnitella oikeanlainen kytkentä lämmitysjärjestelmään päälämmönlähteen rinnalle. Tärkeintä tämän työn kytkennän suunnittelussa oli, että absorptiolämpöpumppua saadaan käytettyä mahdollisimman tehokkaasti, jolloin hyödynnetään ilmaisenergianlähteitä niin paljon kuin mahdollista, ja se, että päälämmönlähde ja lämpöpumppu toimivat sulassa sovussa keskenään.

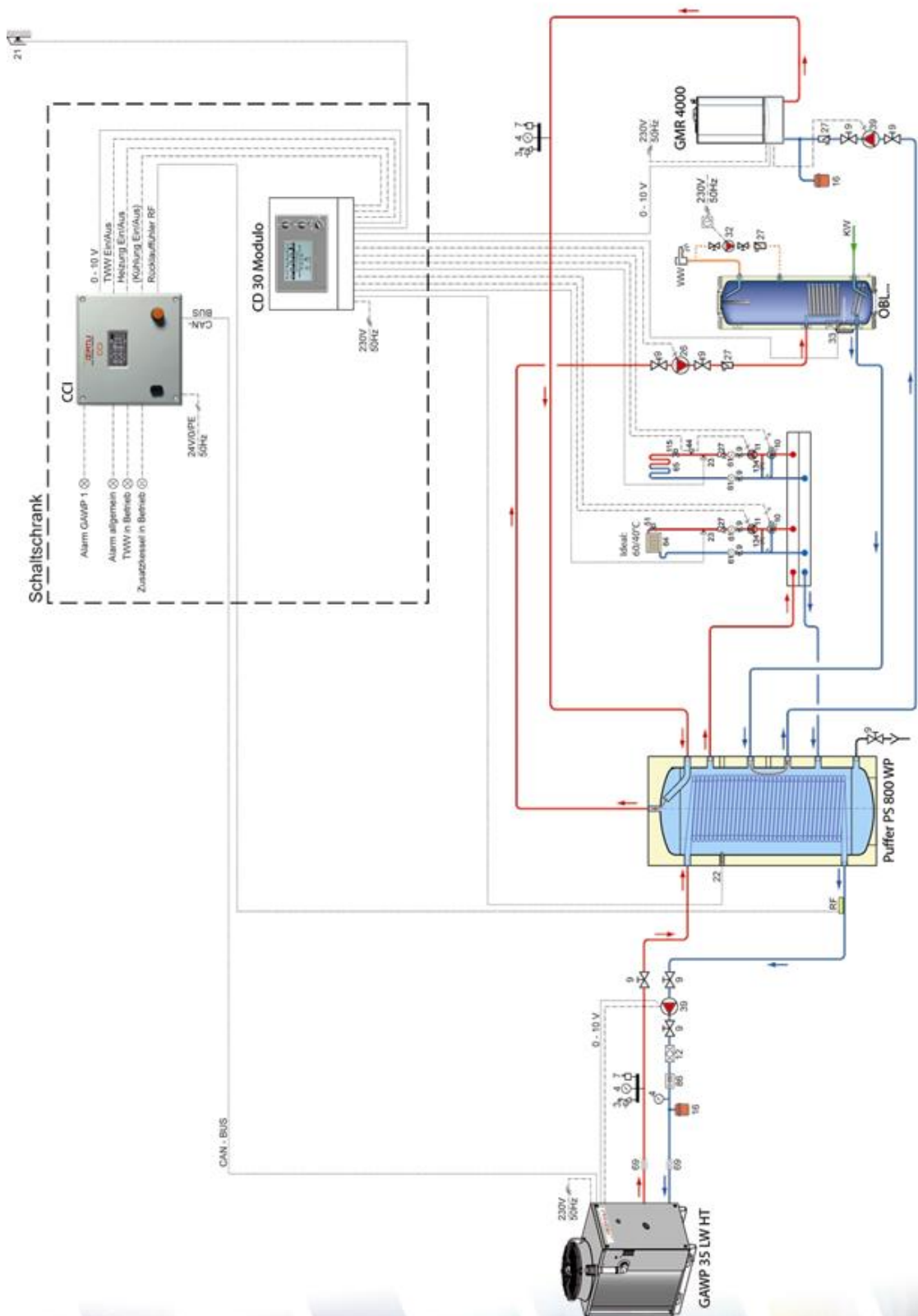
Suunnitellulla uudella kytkennällä voidaan välttää kattilan käyttämisestä aiheutuva puskurivaraajan kuumeneminen ja näin mahdollistamaan lämpöpumpun ja kattilan tehokas rinnakkainen käyttö. Ongelmaksi muodostuvat lämmitysverkoston korkeat paluulämpötilat, jolloin lämpöpumpun lämpötilaohjelman nostaminen alentaa hyötysuhdetta. Lämmitysjärjestelmän oikeanlaisella mitoittamisella voidaan vaikuttaa kiertoveden lämpötiloihin ja myös lämpöpumpun energiatehokkuuteen.

Lähteet

- 1 Cengel Y. A., Boles M. A. 2011. Thermodynamics: an Engineering approach Seventh edition in SI units.
- 2 Herold, K. E., Radermacher, R., Klien, S. A. 1996. Absorption Chillers and Heat pumps.
- 3 Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. 1998. Verkkodokumentti. VTT. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf>. Viitattu 11.11.2013.
- 4 Heat pumps comparison page. 2013. Verkkodokumentti. Robur. S.p.A. <http://www.robur.com/technology/heat-pumps-comparison/page-1.html>. Viitattu 12.11.2013.
- 5 PRO GAHP Line A Series. 2013. Verkkodokumentti, Robur. S.p.A <http://www.robur.com/products/pro-solutions/pro-gahp-line-a-series/description.html>. Viitattu 13.11.2013.
- 6 E-luku ja uudet rakennusmääräykset. Verkkodokumentti. 2013. Nilan. <http://www.nilan.fi/uutiset/e-luku-ja-uudet-rakennusmaaraykset/>. Viitattu 10.11.2013.
- 7 E-luku on tärkeässä osassa rakennusten energiankulutuksen hillitsemisessä. Verkkodokumentti. 2013. Lamit.fi. <http://www.lamit.fi/fi/e-luku>. Viitattu 20.11.2013.
- 8 D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma: Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012. Verkkodokumentti. 2011. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Viitattu 20.11.2013.
- 9 Inside the thermodynamic cycle. Verkkodokumentti. 2013. Robur S.p.A. <http://www.roburcorp.com/technology/how-gahp-work/gahp-cover-a-wide-range-of-needs.html>. Viitattu 22.11.2013.
- 10 Design manual GAHP-A. Verkkodokumentti. 2013. Robur S.p.A http://www.tehnokom.hr/images/pdf/engineer-manual_gahp-a_pro_en.pdf. Viitattu 22.11.2013.
- 11 OVA-ohje: Ammoniakki. Verkkodokumentti. 2013. TTL. <http://www.ttl.fi/ova/ammoni.html> viitattu 13.12.2013.

- 12 Gas driven heat pumps, efficient heating and cooling with natural gas. Verkkodokumentti. 2013. Gasterra. <http://www.gasterra.nl/en/kenniscentrum/boekenreeks-de-wereld-van-aardgas>. Viitattu 16.12.2013.
- 13 D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma: Kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistot, Määräykset ja ohjeet. 2007. Verkkodokumentti. <http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/d1.pdf>. Viitattu 26.2.2014.
- 14 Kauppinen Markus: Ammoniakin käytöstä. Sähköposti tekijälle.16.12.2013. Tukes. Tekijän hallussa.

Oertlin kytkentä

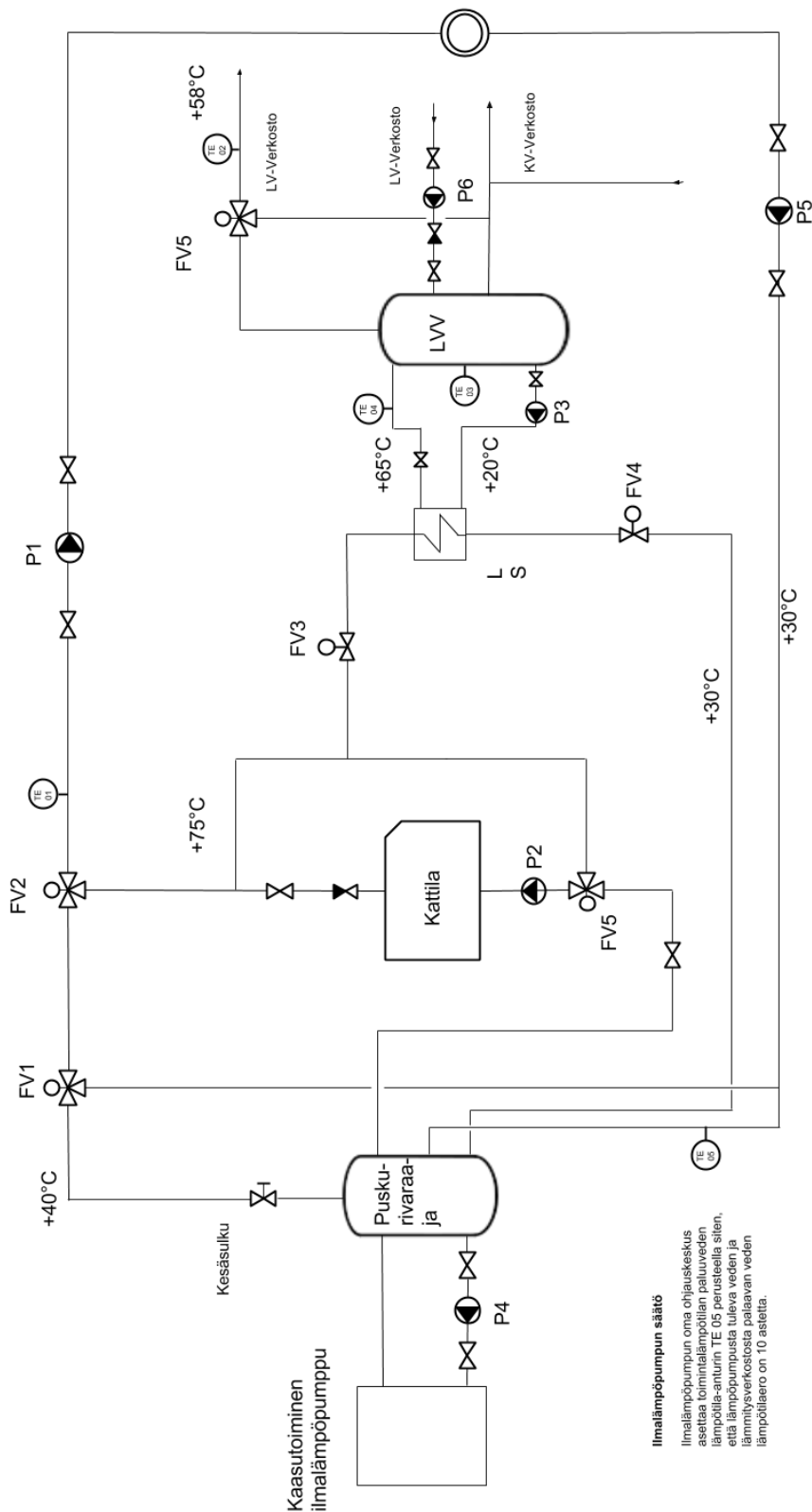


Kurzschlussstrom bei Warmwassernachladung

00-OBL-GMR4000-2HK

OERTLI

Uusi kytkentä



Ilmalämpöpumpun säätö

Ilmalämpöpumpun oma ohjauskeskus asettaa kondenssikatilan paluuvien lämpötila-anturin TE 05 perusteella siinä, että lämpöpumpusta tuleva vesi ja lämmitysverkoston paluuvien veden lämpötilaero on 10 astetta.

Lämmitysverkoston paluuvien lämpötilan säätö

Säädin säätelee lämmitysverkoston paluuvien lämpötilaa kondenssikatilan anturin TE 01 mittauksen perusteella. Säädin asettaa komiteventiiliä FV1 sekä FV2 siinä, että lämpötila pysyy asetetun säätökäynnin mukaisena.

Lämpimän käyttöveden säätö

Komiteventiili FV5 säätelee lämpimän käyttöveden lämpötilaa anturin TE02 mittauksen perusteella pitäen sen asetetussa arvossa.

Kondenssikatilan säätö

Katilan poltin ja pumpu P2 käynnistyvät ulkolämpötila-anturin tai lämmitysvaraajan lämpötila-anturin TE03 mittauksen perusteella. Katilan oma ohjauskeskus pitää menoveden lämpötilan vakiona 75°C asteissa.

Lämmitysvaraajan (LW) lämpötilan säätö

Pumpu P3 käy täydellä kierrosluvulla kun lämpötila anturin TE03 kohdalla laskee alle asetetun arvon. Katilan poltin ja pumpu P2 käynnistyvät sekä säätöventiili FV3 avautuu. Lämpötilan noustessa asetettuun arvoon katilan poltin sammuu. P2 ja P3 pysähtyvät sekä säätöventiili FV3 sulkeutuu.

Lämmönsiirtoimen lataustehon säätö

Säätöventiili FV4 säätelee lämmönsiirtoimen lähtevän veden lämpötilaa anturin TE04 mittauksen perusteella pitäen sen vakiona. Säätöventiili FV3 avautuu lämpötilan noustessa asetettuun arvoon ja sulkeutuu kun lämpötila saavuttaa asetetun ylärajan.

E3 / GAHP A (HT) performance

Heating capacity (kW)

		Water delivery temperature						
		Heating						DHW
		40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
Outdoor temperature	-20 °C	31,5	29,6	27,7	25,7	23,7	22,7	9,3
	-19 °C	31,8	29,9	28,0	26,0	23,9	22,9	9,5
	-18 °C	32,0	30,1	28,2	26,2	24,2	23,2	9,6
	-17 °C	32,3	30,4	28,5	26,5	24,4	23,4	9,7
	-16 °C	32,5	30,6	28,7	26,7	24,7	23,7	9,8
	-15 °C	32,8	30,9	29,0	27,0	24,9	23,9	10,0
	-14 °C	33,0	31,1	29,2	27,2	25,2	24,2	10,1
	-13 °C	33,3	31,4	29,5	27,5	25,5	24,4	10,2
	-12 °C	33,5	31,6	29,7	27,7	25,7	24,7	10,3
	-11 °C	33,8	31,9	30,0	28,0	26,0	24,9	10,5
	-10 °C	34,0	32,1	30,2	28,2	26,2	25,2	10,6
	-9 °C	35,0	32,9	30,8	28,7	26,6	25,4	10,7
	-8 °C	36,0	33,7	31,4	29,2	27,0	25,5	10,8
	-7 °C	37,0	34,5	32,0	29,7	27,5	25,7	11,0
	-6 °C	37,4	34,9	32,4	30,2	28,0	26,1	11,0
	-5 °C	37,7	35,2	32,7	30,6	28,5	26,4	11,1
	-4 °C	38,1	35,6	33,1	31,0	29,0	26,8	11,1
	-3 °C	38,5	35,9	33,4	31,4	29,5	27,1	11,2
	-2 °C	38,8	36,3	33,8	31,9	30,0	27,5	11,2
	-1 °C	39,0	36,7	34,4	32,3	30,1	27,8	11,3
	0 °C	39,2	37,1	35,1	32,7	30,3	28,2	11,3
	1 °C	39,4	37,6	35,8	33,1	30,4	28,6	11,4
	2 °C	39,6	38,0	36,5	33,5	30,5	29,0	11,5
	3 °C	39,7	38,3	36,8	33,9	31,0	29,4	11,6
	4 °C	39,8	38,5	37,2	34,4	31,5	29,8	11,7
	5 °C	40,0	38,8	37,5	34,8	32,0	30,2	11,8
	6 °C	40,1	39,0	37,9	35,2	32,5	30,7	11,9
	7 °C	40,2	39,3	38,3	35,7	33,0	31,1	12,0
	8 °C	40,4	39,4	38,5	36,0	33,5	31,6	12,1
	9 °C	40,5	39,6	38,7	36,3	34,0	32,0	12,3

Suorituskykytaulukot (GAHP-A HT, Robur S.p.A)

2 (4)

	10 °C	40,6	39,8	38,9	36,6	34,4	32,5	12,4
	11 °C	40,8	39,9	39,0	37,0	34,9	33,0	12,5
	12 °C	40,9	40,1	39,2	37,3	35,4	33,4	12,7
	13 °C	41,0	40,2	39,4	37,6	35,8	33,9	12,8
	14 °C	41,2	40,4	39,6	38,0	36,3	34,3	13,0
	15 °C	41,3	40,6	39,8	38,3	36,8	34,8	13,1

Efficiency (GUE)

		Water delivery temperature						
		Heating						DHW
		40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
Outdoor temperature	-20 °C	1,250	1,175	1,100	1,020	0,940	0,900	0,740
	-19 °C	1,260	1,185	1,110	1,030	0,950	0,910	0,750
	-18 °C	1,270	1,195	1,120	1,040	0,960	0,920	0,760
	-17 °C	1,280	1,205	1,130	1,050	0,970	0,930	0,770
	-16 °C	1,290	1,215	1,140	1,060	0,980	0,940	0,780
	-15 °C	1,300	1,225	1,150	1,070	0,990	0,950	0,790
	-14 °C	1,310	1,235	1,160	1,080	1,000	0,960	0,800
	-13 °C	1,320	1,245	1,170	1,090	1,010	0,970	0,810
	-12 °C	1,330	1,255	1,180	1,100	1,020	0,980	0,820
	-11 °C	1,340	1,265	1,190	1,110	1,030	0,990	0,830
	-10 °C	1,350	1,275	1,200	1,120	1,040	1,000	0,840
	-9 °C	1,390	1,307	1,223	1,140	1,057	1,007	0,850
	-8 °C	1,430	1,338	1,247	1,160	1,073	1,013	0,860
	-7 °C	1,470	1,370	1,270	1,180	1,090	1,020	0,870
	-6 °C	1,484	1,384	1,284	1,197	1,110	1,034	0,874
	-5 °C	1,498	1,398	1,298	1,214	1,130	1,048	0,878
	-4 °C	1,512	1,412	1,312	1,231	1,150	1,062	0,882
	-3 °C	1,526	1,426	1,326	1,248	1,170	1,076	0,886
	-2 °C	1,540	1,440	1,340	1,265	1,190	1,090	0,890
	-1 °C	1,547	1,457	1,366	1,281	1,195	1,105	0,895
	0 °C	1,555	1,474	1,393	1,297	1,201	1,120	0,900
	1 °C	1,562	1,491	1,420	1,314	1,206	1,135	0,905
	2 °C	1,570	1,509	1,448	1,330	1,212	1,150	0,910
	3 °C	1,575	1,519	1,462	1,347	1,231	1,166	0,918

